

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-234303

(43)Date of publication of application : 31.08.2001

(51)Int.Cl.

C22C 38/00  
B21B 3/02  
C21D 8/12  
C21D 9/46  
C22C 38/06  
H01F 1/16  
H01F 1/18  
// H02K 1/02

(21)Application number : 2000-051861

(71)Applicant : SUMITOMO METAL IND LTD

(22)Date of filing : 28.02.2000

(72)Inventor : NAKAYAMA Taisei  
MITSUNAGA TAKASHI**(54) HIGH STRENGTH NONORIENTED SILICON STEEL SHEET EXCELLENT IN FATIGUE RESISTANCE AND ITS PRODUCING METHOD**

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To produce a high strength nonoriented silicon steel sheet excellent in fatigue resistance without causing deterioration in its magnetic properties.

**SOLUTION:** This steel sheet has a steel composition composed of  $\leq 0.01\%$  C,  $\leq 3.3\%$  Si,  $\leq 2.0\%$  Mn,  $\leq 0.01\%$  S,  $\leq 3.0\%$  acid soluble Al,  $\leq 0.1\%$  P,  $\leq 0.005\%$  N and the balance Fe with inevitable impurities, and in which the following inequality (1) is satisfied:  $\text{Sieq} \cdot \sigma_w / \tau \geq 4.0 \dots (1)$ , wherein  $\text{Sieq} = \text{Si} + \text{acid soluble Al} + 1/2 \text{Mn}$ ,  $\sigma_w$  is a fatigue limit (MPa), and  $\tau$  is a ferritic crystal grain size ( $\mu\text{m}$ ). In its production, a slab having the above steel composition is heated at  $\leq 1300^\circ \text{C}$ , is hot-rolled and is thereafter (i) subjected to hot rolled sheet annealing at  $600$  to  $1,000^\circ \text{C}$ , or is (ii) subjected to one or two times cold rolling including process annealing as hot-rolled, is next subjected to finish annealing at  $700$  to  $1,000^\circ \text{C}$  and is moreover applied with surface coating of an organic matter or a combined material of an organic matter and an inorganic matter.

(19)日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-234303

(P2001-234303A)

(43)公開日 平成13年8月31日(2001.8.31)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト <sup>*</sup> (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 3	C 2 2 C 38/00	3 0 3 U 4 K 0 3 3
B 2 1 B 3/02		B 2 1 B 3/02	5 E 0 4 1
C 2 1 D 8/12		C 2 1 D 8/12	A 5 H 0 0 2
9/46	5 0 1	9/46	5 0 1 B
C 2 2 C 38/06		C 2 2 C 38/06	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 5 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-51861(P2000-51861)

(22)出願日 平成12年2月28日(2000.2.28)

(71)出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72)発明者 中山 大成

和歌山県和歌山市湊1850番地 住友金属工業株式会社和歌山製鉄所内

(72)発明者 三長 崇

和歌山県和歌山市湊1850番地 住友金属工業株式会社和歌山製鉄所内

(74)代理人 100081352

弁理士 広瀬 章一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 耐疲労特性に優れた高強度無方向性電磁鋼板とその製造法

## (57)【要約】

【課題】 磁気特性の劣化を招くことなく、耐疲労特性に優れた、高強度の無方向性電磁鋼板を提供する。

【解決手段】 C:0.01%以下、Si:3.3%以下、Mn:2.0%以下、S:0.01%以下、酸可溶Al:3.0%以下、P:0.1%以下、N:0.005%以下、残部Feおよび不可避不純物より成る鋼組成とし、下記式(1)を満たすようにする。

$$S_{ieq} \cdot \sigma_w / \tau \geq 4.0 \quad \dots \dots (1)$$

ただし、 $S_{ieq} = Si + \text{酸可溶Al} + 1/2Mn$ 、 $\sigma_w$ は疲労限(MPa)、 $\tau$ はフェライト結晶粒径( $\mu m$ )である。製造にあたっては、上記鋼組成を有するスラブを1300℃以下で加熱し熱間圧延を行った後、(i)600～1000℃で熱延板焼鈍を行うか、あるいは(ii)熱間圧延まま冷間圧延を1回または中間焼鈍をはさんで冷間圧延を2回行い、次いで700～1000℃で仕上焼鈍を行い、さらに、有機または、有機および無機の複合物よりなる表面コーティングを行う。

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】 質量%で、

C : 0.01%以下、Si : 3.3 %以下、Mn : 2.0 %以下、  
S : 0.01%以下、酸可溶Al : 3.0 %以下、P : 0.1 %以下、

N : 0.0050%以下、残部Feおよび不可避不純物より成る鋼組成を有し、下記式(1)を満たすことを特徴とする耐疲労特性に優れた高強度無方向性電磁鋼板。

$$S_{ieq} \cdot \sigma_w / \tau \geq 4.0 \quad \dots (1)$$

ただし、 $S_{ieq} = Si + \text{酸可溶Al} + 1/2Mn$  (すべてSi、Al、Mnはそれぞれの化学成分の質量%)、 $\sigma_w$  は疲労限 (MPa)、 $\tau$  はフェライト結晶粒径 ( $\mu m$ ) である。

【請求項2】 請求項1記載の鋼組成を有するスラブを1300℃以下の温度で加熱し熱間圧延を行った後、600 ~ 1000℃で熱延板焼鈍を行うか、あるいは熱間圧延まま、冷間圧延を1回または中間焼鈍をはさんで冷間圧延を2回以上行い、次いで700 ~ 1000℃で仕上焼鈍を行うことを特徴とする、請求項1の式(1)を満たす耐疲労特性に優れた高強度無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項3】 仕上げ焼鈍後に、有機または、有機および無機の複合物よりなる表面コーティングを鋼板表面に形成させる請求項2記載の高強度無方向性電磁鋼板の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、タービン発電機や電気自動車の主モータ、工作機械用サーボモータなど高速回転を必要とする回転機のロータ用として耐疲労特性に優れた磁気特性の優れた高強度無方向性電磁鋼板とその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 無方向性電磁鋼板はモータやトランスに使用される。

【0003】 近年、環境問題とエネルギー問題で特に回転機の効率改善が求められている。発電機ではタービン式でさらなる高速回転を指向しており、一方、モータでは電気自動車においては主モータが高トルクを得るために高速回転を必要とするブラシレスDCモータや、工作機械、ロボットなど応答性を高めるため高速回転を必要とするサーボモータなど、高速回転に対する需要が高まっている。

【0004】 かかる高速回転の回転機では、回転子(ロータ)にかかる遠心力が重要な問題となる。特に永久磁石を埋め込むブラシレスDCモータやサーボモータでは埋め込んだ磁石がロータの電磁鋼板に対し常に遠心力により圧縮応力をかける結果となり最悪の場合にはロータが疲労破壊を起こす危険性がある。

【0005】 従来技術では、高強度電磁鋼板として、たとえば特開平2-8346号公報や特開平2-22442号公報などに提案されているように、Ni、Mn、Nb、Zrなどを添

加することで強度を高める方法が知られている。しかしながら、Ni、Nb、Zrなどの添加はコストアップを招くばかりか磁気特性を劣化させる欠点があった。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 ここに、本発明の課題は、磁気特性の劣化を招くことなく、耐疲労特性に優れた、高強度の無方向性電磁鋼板とその製造方法を提供することである。

【0007】 より具体的には、本発明の課題は表面コーティング後に350MPa以上の疲労限を有し、50Hzで磁束密度1.5Tの鉄損が10W/kg以下という磁気特性にも優れた無方向性電磁鋼板とその製造方法を提供することである。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】 かかる課題を解決するために、本発明者らは種々検討の結果、下記のような知見を得て、磁気特性の劣化を招くことなく、耐疲労特性に優れた無方向性電磁鋼板およびその製造方法を見出した。

【0009】 すなわち、具体的には過去の疲労破壊したモータのロータを分析してみると、打ち抜かれた状態すなわち打ち抜き加工による微小な切り欠きをもった状態での疲労限とその鋼材の結晶粒径に相関があることがわかり、特に疲労限が350MPa未満の材料では10000rpmを超えるような高速回転するモータでは切り欠き欠陥による破壊を起こしたり、繰り返し応力による疲労破壊を起こしたりすることが分かった。

【0010】 これらの破壊を明確にする指標として鋼材化学成分、疲労限、結晶粒径を詳細に調べたところ、下記式を満足することで破壊に対し十分であることが判明した。

$$S_{ieq} \cdot \sigma_w / \tau \geq 4.0$$

ただし、 $S_{ieq} = Si + \text{酸可溶Al} + 1/2Mn$  (Si、Al、Mnはいずれもそれぞれの化学成分の質量%)、 $\sigma_w$  は疲労限MPaで、 $\tau$  はフェライト結晶粒径 ( $\mu m$ ) である。

【0011】 かくして、本発明の要旨とするところは次の通りである。

(1) 質量%で、C : 0.01%以下、Si : 3.3 %以下、Mn : 2.0 %以下、S : 0.01%以下、酸可溶Al : 3.0 %以下、P : 0.1 %以下、N : 0.0050%以下、残部Feおよび不可避不純物より成る鋼組成を有し、下記式(1)を満たすことを特徴とする耐疲労特性に優れた高強度無方向性電磁鋼板。

$$S_{ieq} \cdot \sigma_w / \tau \geq 4.0 \quad \dots (1)$$

ただし、 $S_{ieq} = Si + \text{酸可溶Al} + 1/2Mn$  (すべてSi、Al、Mnはそれぞれの化学成分の質量%)、 $\sigma_w$  は疲労限 (MPa)、 $\tau$  はフェライト結晶粒径 ( $\mu m$ ) である。

【0013】 (2) 上記(1)記載の鋼組成を有するスラブを1300℃以下の温度で加熱し熱間圧延を行った後、600 ~ 1000℃で熱延板焼鈍を行うか、あるいは熱間圧延まま、冷間圧延を1回または中間焼鈍をはさんで冷間圧延を2回以上行い、次いで700 ~ 1000℃で仕上焼鈍を行う

ことを特徴とする、上記(1)の式(1)を満たす耐疲労特性に優れた高強度無方向性電磁鋼板の製造方法。

【0014】(3)仕上げ焼鈍後に、有機または、有機および無機の複合物よりなる表面コーティングを鋼板表面に形成させる上記(2)記載の高強度無方向性電磁鋼板の製造方法。

【0015】

【発明の実施の形態】このように、本発明によれば、所定成分よりなるスラブを熱間圧延後、酸洗し冷間圧延し、あるいは熱延板焼鈍し酸洗後冷間圧延し、所定の板厚1回または中間焼鈍をはさみ2回以上の冷間圧延によって所定の板厚に仕上げた後、連続焼鈍にて結晶粒径を制御した後、必要により、無機バインダを含む樹脂あるいは樹脂のみよりなる有機無機の複合あるいは有機コーティングを施す。

【0016】まず、本発明の鋼組成の限定理由を以下に示す。なお、本明細書において鋼組成を表す「%」は特にことわりがない限り、「質量%」である。

【0017】C：Cは、0.01%を越えて含有すると磁気時効が起こり磁気特性を劣化させるため0.01%以下とする。好ましくは0.005%以下とする。

【0018】Si：Siは、磁気特性改善に必須の元素であるが、3.3%を越えて含有させると冷間圧延が困難となるばかりか、モータに加工した際に打抜き破面に微少クラックを生じ易くなるため、3.3%以下とした。好ましくは2.5%以下である。下限は特に規定されないが、一般には0.5%好ましくは1.0%である。

【0019】Mn：Mnは、磁気特性改善に有効な元素であ\*

$$\text{Sieq} = \text{Si}(\%) + \text{酸可溶 Al}(\%) + 1/2\text{Mn}(\%) \cdots (2)$$

本発明では高速回転するモータでの疲労特性が重要となる。すなわち  $\text{Sieq} \cdot \sigma W / \tau$  が4.0未満の材料は、合金成分不足で母材そのものの疲労特性不良の場合か、合金成分は十分だが粗大結晶粒であって切欠き疲労特性不良の場合で、いずれも本発明の高速回転用部材に適しないため、4.0以上とした。上限は特に規定しないが、一般には、15以下で十分であり、冷間圧延可能な成分でのSieqが5.0以下であり結晶粒径 $\tau$ は最小でも1 $\mu\text{m}$ 程度しか工業的には製造できないことと、疲労限 $\sigma W$ はフェライト組織では600MPaを超えないことを考慮しても、3000を超えることはない。

【0026】本発明によれば、上述のような耐疲労性に優れた高強度無方向性電磁鋼板は、スラブの熱間圧延、熱延板焼鈍後あるいは熱間圧延まま、冷間加工を行い、次いで仕上げ焼鈍を行うことで製造される。以下、これらの製造工程について説明する。

【0027】まず、上記鋼組成を有するスラブを用意し、1300℃以下の温度で加熱し通常の熱間圧延を行う。1300℃を越えた加熱温度は鋼中のMnSを溶解させ磁気特性の劣化を招く。圧延性を確保するために、好ましくは1000～1200℃である。

\*るが2.0%を越えて添加すると冷間圧延が困難となるため、2.0%以下とした。好ましくは、下限は0.1%、上限は1.0%である。さらに好ましくは0.1～0.7%である。

【0020】S：Sの添加は逆に磁気特性を劣化させるためSは0.01%以下とした。好ましくは0.005%以下である。

【0021】酸可溶Al：磁気特性を改善するのに重要な元素であるが、3.0%を越えて含有すると硬さの著しい上昇をまねき冷間圧延が困難となるばかりかモータに加工した際に打抜き破面に微少クラックを生じ易くなるため3.0%以下とした。好ましくは0.6%以上2.5%以下である。

【0022】P：打抜き性を確保するための機械的性質を改善するのに重要であるが0.1%を越えて含有すると冷間圧延時の破断を引き起こすため0.1%以下とした。好ましくは0.08%以下である。

【0023】N：磁気特性にとって有害でありAlと結合したAlNを形成し結晶粒を微細化させ磁気特性劣化をまねくのでNを0.0050%以下とした。好ましくは0.0035%以下である。

【0024】 $\text{Sieq} \cdot \sigma W / \tau$ ：Sieqは、磁気特性を改善し、機械的強度を高める元素の当量であり、下記式で表される。この値が高いほど鋼材そのものの疲労に対し効果がある。ただし、過度の添加では冷間圧延が困難となるばかりかその後の仕上げ焼鈍で結晶粒が粗大となり、切り欠き疲労特性は逆に低下する。

【0025】

【0028】熱間圧延それ自体は慣用のそれであればよく、特に制限はないが、好ましくは、特開昭56-130425号公報のように行えばよい。

【0029】熱間圧延後、場合により、さらなる磁気特性改善のために所望により、熱延板焼鈍を行う。熱延板焼鈍温度は600℃未満では効果がなく、1100℃を越えると結晶粒が過度に粗大化し、冷間圧延時に破断等のトラブルを引き起こす。

【0030】熱延板焼鈍を行わない場合には、熱間圧延ままで冷間圧延を行う。このときの冷間圧延は1回または中間焼鈍をはさみ2回以上で行う。冷間圧延による仕上げ板厚は、好ましくは、0.2～0.7mmである。

【0031】仕上げ焼鈍は、好ましくは連続焼鈍により700～1000℃で行う。仕上げ焼鈍温度700℃未満では再結晶組織が十分得られず磁気特性は不良となり、かつ硬さの上昇を招く。一方、1000℃超では結晶粒が著しく粗大化し、モータコア抜き加工の際、微少な割れを生じ疲労特性が劣るので1000℃以下とする。

【0032】焼鈍後、打抜き性を重視する用途には、鋼板表面に樹脂のみあるいは、樹脂と無機バインダの混合物からなる表面コーティングを施す。この表面コーティン

グは、慣用のものであればよく、特に制限はない。

### 【0033】

【実施例】C:0.002%、Si:2.3%、Mn:0.2%、S:0.003%、酸可溶Al:1.9%、P:0.02%、N:0.0018%、残部Feおよび不可避不純物より成る基本鋼組成を有するスラブ(227mm厚、1000mm幅)を1150℃で加熱し通常の熱間圧延を行い、2.0mm厚の熱延コイルに仕上げた。

【0034】熱延板焼鈍を800℃で行い、通常の酸洗後、1回の冷間圧延で0.50mm厚の冷延コイルに仕上げた。一部のものは熱延板焼鈍を行わずに、熱間圧延まま冷間圧延を行った。

【0035】次いで、850℃の連続焼鈍にて再結晶焼鈍である仕上げ焼鈍を行った。かかる再結晶焼鈍後のフェライト結晶粒径は55μmであった。

【0036】このようにして製造した冷延鋼板に対し \*

\*て、アクリル樹脂エマルジョン、クロム酸マグネシウム、ほう酸よりなる膜厚0.4μmの表面コーティングをロールコート方式により鋼板表面に形成させた。得られた供試材に対して磁気特性および疲労特性を評価した。磁気特性はJIS C-2550に規定されたエプスタイン試験棒を用い、50Hzで磁束密度1.5Tの時の鉄損と比較し10W/kg以下を良好とした。

【0037】疲労特性は引張試験の形状試片を打ち抜き加工により作成し、電磁片振り振動法による疲労試験を行い疲労限を測定した。疲労限は350MPa以上を良好とした。なお、本例(No.1~9)では450~590MPaの引張強度が得られた。表1に供試材の鋼組成と共に製造条件、特性をまとめて示す。

### 【0038】

【表1】

鋼種		成分 (mass%)								スラブ 加熱 (℃)	熱延板 焼鈍 (℃)	仕上 板厚 (mm)	仕上 焼鈍 (℃)	σ <sub>W</sub> (MPa)	τ (μm)	σ <sub>W</sub> /τ	Sieq* σ <sub>W</sub> /τ	F <sub>1.5/1.0</sub> (W/kg)
		C	S	P	Si	Mn	Al	N	Sieq									
本発明例	1	0.002	0.003	0.02	2.3	0.2	1.9	0.0027	4.3	1150	800	0.5	850	428	55	7.75	33.31	3.8
	2	0.003	0.004	0.05	1.7	0.2	1.9	0.0033	3.7	1180	780	0.35	880	433	85	8.66	24.65	3.2
	3	0.003	0.005	0.05	1	1.9	1.3	0.0015	3.3	1150	800	0.5	915	386	52	7.42	24.13	3.7
	4	0.001	0.002	0.03	1.8	0.3	2.3	0.0011	4.3	1150	800	0.35	890	369	41	9.00	38.25	2.9
	5	0.002	0.002	0.03	2.9	0.2	1.1	0.0009	4.1	1150	800	0.27	820	401	79	5.08	20.81	2.7
	6	0.004	0.005	0.06	0.6	0.5	1.5	0.0023	2.4	1150	なし	0.5	750	355	24	14.79	34.76	4.9
	7	0.003	0.001	0.01	0.8	0.5	0.7	0.0041	1.8	1150	なし	0.85	790	369	39	8.46	16.66	4.5
	8	0.003	0.002	0.02	2	0.2	2	0.0022	4.1	1150	なし	0.65	800	390	96	4.11	16.83	8.5
	9	0.008	0.01	0.08	0.3	2	0.9	0.0019	2.2	1150	800	0.5	920	367	60	5.12	13.46	6
比較例	10	0.005	0.001	0.02	4	0.3	1	0.0046	5.2	1150	860	冷 圧 破 断						
	11	0.008	0.003	0.05	0.5	2.7	1.7	0.0035	3.8	1150	なし	冷 圧 破 断						
	12	0.003	0.005	0.05	1	1.9	4	0.0008	6	1150	850	冷 圧 破 断						
	13	0.001	0.005	0.08	0.3	0.3	0.3	0.0022	0.8	1150	900	0.5	950	315	105	3.00	2.25	5.67
	14	0.002	0.004	0.03	3.5	1.2	0.5	0.0019	4.8	1150	800	0.35	1085	299	150	1.98	9.17	2.3
	15	0.004	0.05	0.05	1	1.7	1.5	0.0022	3.4	1150	なし	0.35	1050	305	107	2.83	9.55	2.59
	16	0.03	0.001	0.01	0.3	1.9	2	0.0072	3.3	1150	なし	0.5	850	401	35	11.46	37.24	10.52
	17	0.002	0.001	0.05	2.3	0.2	1	0.0008	3.4	1150	なし	冷 圧 破 断						
	18	0.003	0.001	0.01	1.3	2	0	0.0055	2.8	1150	なし	0.5	850	285	90	3.17	7.28	7.3

### 【0039】

【発明の効果】以上説明してきたように、本発明によれば、表面コーティング後に350MPa以上の疲労限を有し、※

※50Hzで磁束密度1.5Tの鉄損が10W/kg以下という磁気特性にも優れた無方向性電磁鋼板が提供されるのであって、その実用上の意義は大きい。

フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード (参考)

H 0 1 F 1/16

H 0 1 F 1/16

A

1/18

1/18

// H 0 2 K 1/02

H 0 2 K 1/02

Z

F ターム(参考) 4K033 AA01 FA01 FA13 HA01 HA03  
KA00 RA03 SA03 TA03  
5E041 AA02 AA19 BC01 BC05 CA04  
HBO5 HBO7 HB11 NNO1 NNO6  
NN17 NN18  
5H002 AA08

1. JP,2001-234303,A